

과학과 기술 공학자의 가치와 방법

과학 ~ 기술

과학기술 = 과학+기술

기술 = 응용과학

전자기학 → 모터, 발전기, 전신, 라디오

열역학 → 열기관, 내연기관 ...

핵물리학 → 핵발전, 핵폭탄

고체물리학 → 반도체

고등수학, 정보이론, 사이버네틱스 → 컴퓨터

...

“과학기술 혁명을 거치며 과학과 기술은 결합해서 하나가 되었다.”

“현대 기술은 과학의 내용과 방법이 응용된 응용과학이다.”

과학 vs. 기술

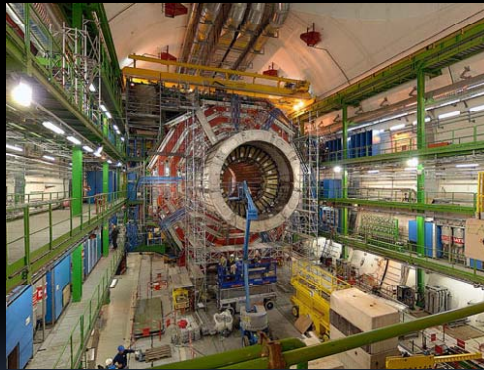
	과학	기술
실체	지식(이론)	실천(응용)
대상	자연	인공물
동기	지적 호기심	실질적인 유용성
목적	설명(예측)과 이해	최대 효율을 위한 디자인

“과학과 기술은 동기, 목적, 대상이 다른 서로 구분되는 분야이며, 과학자와 기술자 사회 또한 상이한 가치체계를 가진 상이한 집단이다.”

그러나...

과학의 대상인 ‘자연’이란?





과학자들의 실험실? vs. 엔지니어의 작업장?

- 과학의 대상 : ‘인간이 만든’ 자연
- 기술의 대상 : ‘자연의 연장’으로서의 인공

즉, 과학과 기술이 다루는 대상의 존재론적 차이는 점차 소멸

- 맥스웰이 전자기장 이론을 이용해
모터의 효율을 분석한 논문의 목적은?
 - 회전하는 장의 특성을 이해하기 위해서?
 - 모터의 효율을 높이기 위해서?
- 즉, 과학자와 기술자 사이의
“동기”와 “목적”의 차이도 분명치 않음
 - 인공물에 대한 근본적인 이해를 추구하는 엔지니어
 - 엔지니어보다 더 실용성을 추구하는 과학자

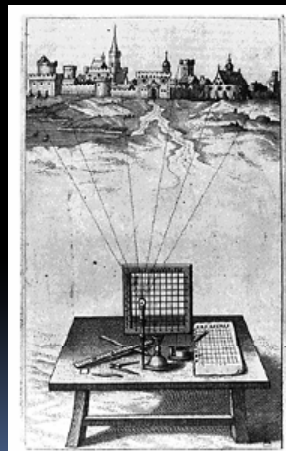
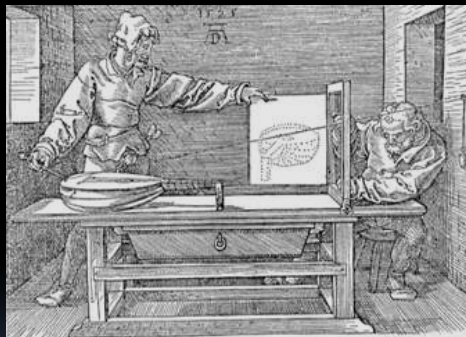
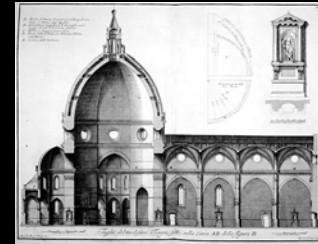
앞에서 언급한 과학과 기술 사이의 극단적인 차이는
오히려 고대의 상황과 더 어울릴 뿐, 현대에는 맞지 않음

- 고대의 자연철학(philosophy) vs. 기예(art)
 - [철]학자(scholar, philosopher) vs. 장인(artisan)
 - 두 계층 사이에는 상호작용 없었음. 왜?
 - 학자 사회 vs. 낮은 계급, 문맹
 - 자연 vs. 인공 : 존재론적으로 구분되는 대상
 - 자연에 조작을 가하는 것은 참된 과학이 아님
 - 기술(불, 바느질, 농업, 건축)에 과학 불필요

→ 이러한 상황은 르네상스 시기부터 급변!

르네상스 시기의 환경

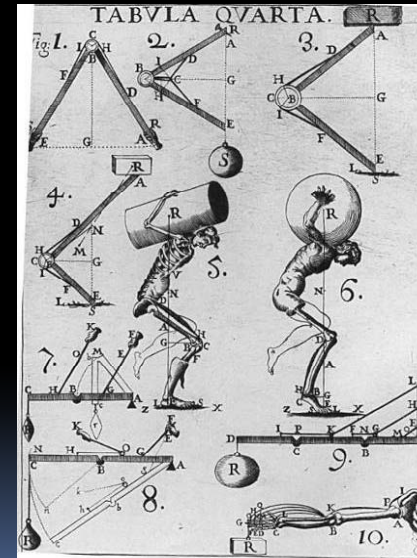
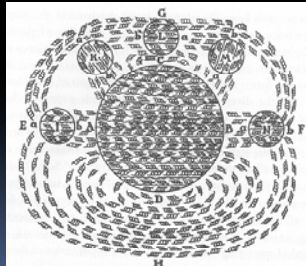
- 대규모 건축/항해 프로젝트 + 상업적/군사적 팽창
 - 장인 & 예술가의 사회적 지위 상승
 - 새로운 학자 계층과 장인/예술가의 지적 교감
 - 실제적이고 기술적인 지식을 체계화하려는 노력
 - 정밀기계와 도구의 발명과 개선
 - 자연에 대한 조작적(operative) 태도 확산 (실험적)
 - 자연과 기계 사이의 비유의 원천이 되기도 (기계적)
- 브루넬레스키(1377-1446): 원근법 + 건축
- 레오나르도 다 빈치 (1452-1519)
- 타르타글리아(1500-1557): 탄도학
- 아그리콜라 (1494-1555): <금속에 관해서>



17세기 과학혁명기의 변화

데카르트의 새로운 자연관

- 기계로서의 자연 & 자연의 연장으로서의 인공물
- 자연물도 기계적으로 설명 & 기계에도 자연법칙 작동



보렐리의 인체 기계학

“인간이 만든 기계와 자연적으로 만들어진 기계 사이에는 차이점이 없다.”

“물리학이 적용되지 않는 기계장치란 없으며, 기계장치는 물리학의 한 부분이나 특별한 상황을 형성하고 있음에 틀림 없다. (따라서 모든 인위적인 것은 또한 자연적인 것이다.) 즉 시간을 알려주기 위해 필요한 수의 톱니바퀴들로 구성된 시계는 어떤 씨앗이 자라 과일 나무로 성장하는 것과 마찬가지로 자연적이다.”

- 데카르트

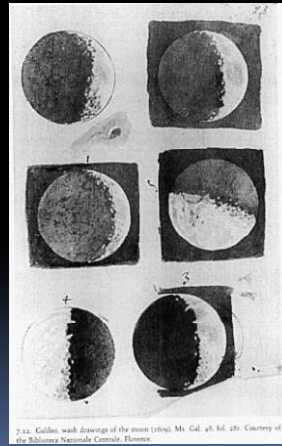
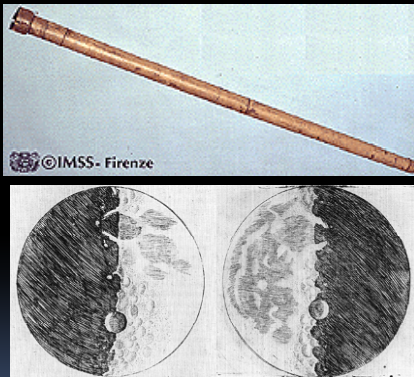
즉, 자연과 인공 사이의 구분 철폐 선언!

베이컨의 새로운 과학철학

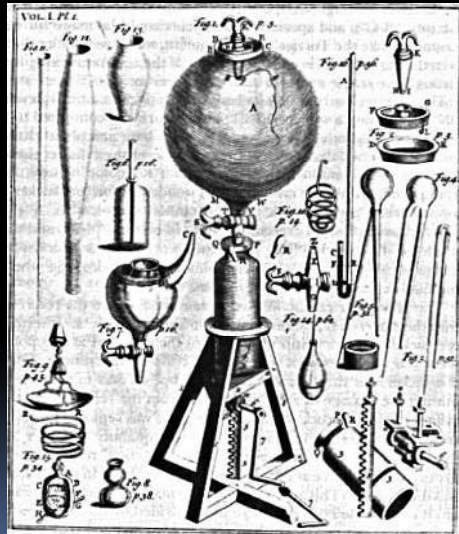
- 참된 과학은 실제 세상에서도 유용
“진리와 효용은 하나다”
→ 과학과 기술의 목적을 통합
- 이러한 과학을 얻기 위해 자연을 조작
 - “실험적 방법”의 도입
 - “과학적 도구”의 사용



갈릴레오의 망원경과
그가 스케치한 달의 표면



로버트 후크의 *Micrographia*



로버트 보일과 진공펌프



실험과 도구의 역할은?

과학 → 도구 → 자연에 개입

실험실에서 “제2의 자연” 창조

예) 보일의 진공펌프 : 진공이 자연에 존재?

기술 → 도구 → 과학에 침투

과학과 기술의 한 가지 중요한 접점이 형성

베이컨의 “진리와 효용은 하나다”라는 명제의 역할은?

높은 효용은 과학적 참의 증거 &

참은 높은 효용을 낼 수 있는 것으로 응용 가능 천명

그렇다면, 18-19세기 산업혁명은 이러한 변화의 산물?

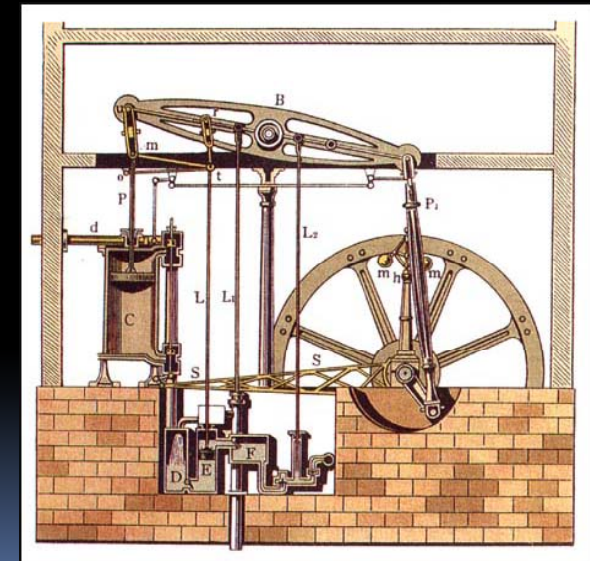
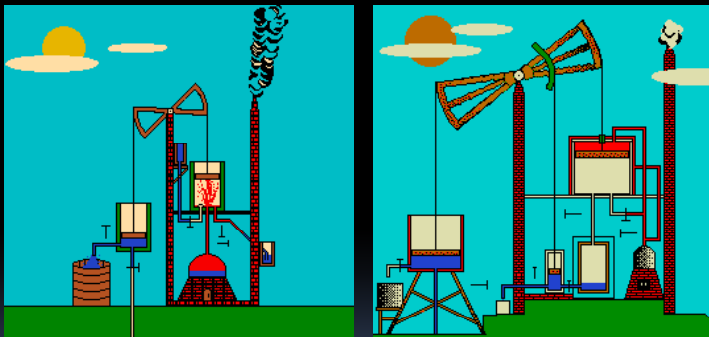
18-19세기 산업혁명기

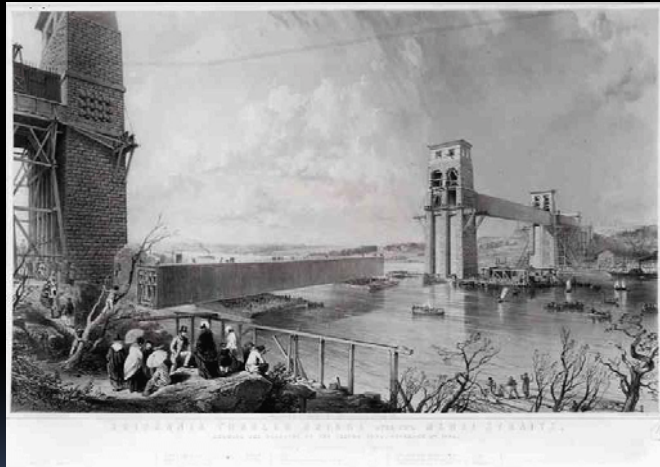
■ 산업혁명을 이끈 주요 기계들:
기술적 성취, **not** 과학적 성취

- 하그브리스(방직공)의 제니 방적기
- 아크라이트(이발사)의 수력 방적기
- 크롬퓨턴(요면)의 물 방적기
- 카트라이트(목사)의 역직기

□ 와트의 증기기관은?

- 조지프 블랙의 잠열 이론 응용? No





영국 메나이 해협
토머스 텔포드의 철교(1824년 완공) 설계에 대한 과학적 자문은?

- 왕실 천문학자의 보고서 :
“태양광선의 영향을 가장 덜 받게 하기 위해 다리를 흰색으로 칠해야 하며, 버락을 막는 안전장치를 설치해야 한다.”
- 옥스퍼드 기하학 교수의 보고서 :
길이 10만분의 1센티미터까지, 무게 천분의 1그램까지 계산
- 케임브리지 수학 교수 밀너의 보고서 :
“계산에 쓰이는 기호와 수들은 아주 미세한 규모까지 완벽하게 옳을 수 있겠지만, ‘다리는 여전히 불안정할 것’”
- 에딘버러 수학 교수 플레이페어 :
“(이론적인 역학은) 온갖 고급 기하학의 도움을 받았음에도 불구하고 매끄러운 쇠기들의 집합의 평형상태를 계산하는 수준에서 더 나아가지 못했다.”

그럼에도...

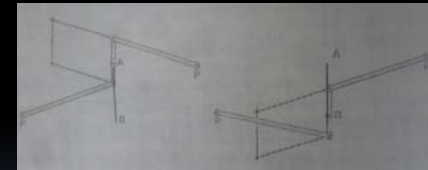
- 산업혁명기 과학-기술 문화-학술 교류의 번성
 - 17세기 후반 이후의 커피하우스, 살롱, 선술집
 - 뉴턴주의, 항해술, 상업, 보험, 세이버리 엔진 등 토론
 - 18세기 후반 수많은 산업도시의 “철학과 문학회”들
 - 예: 버밍엄의 루나 협회(Lunar Society)
 - 제임스 와트, 매튜 볼튼, 조시아 웨지우드(도자기 제조업자), 조지프 프리스틀리, 에라스무스 다윈 등 과학자, 지역 산업 자본가와 엔지니어들이 주 회원
 - 연소와 플로지스톤 이론, 열역학, 증기기관 등 다양한 과학적, 기술적 문제들에 대해 토론
 - 와트: 물의 성분 연구, ‘인공적인 공기의 의학적 이용’
 - 과학적 지식이 기술적, 산업적 진보를 가져다 줄 것을 믿음
 - 웨지우드: 플로지스톤 이론을 도자기 제조에 이용?

- 이들의 상호작용은 새로운 지적 공간 창출
 - 산업자본가와 엔지니어를 포함한 지역의 엘리트들을 전문적으로 교육시키는 지방대학들의 설립을 위한 지적인 원동력이 됨
 - 버밍엄의 오웬스 칼리지
 - 맨체스터의 메이슨 칼리지
 - 새로운 대학에서 과학자와 엔지니어들은 거의 사회적 간극이 없는 존재가 됨
 - 1840년 최초의 엔지니어링 교수직(글래스고 대학)
 - 과학자와 엔지니어 사이의 상호작용 가속화

19세기로 넘어가기 전에...

■ 지식으로서의 기술

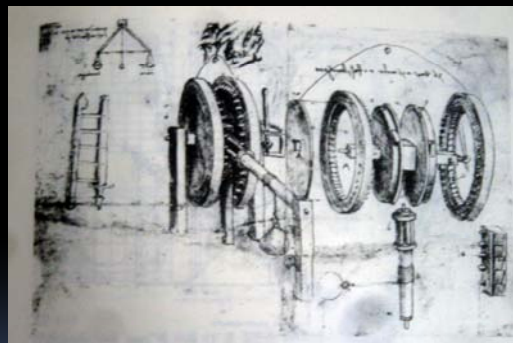
- ▣ 응용과학 테제에 대한 대항 명제
- ▣ 과학 지식과 독자적인 기술 지식이 있는가?
 - 디자인 능력!
 - 최적화 조건, 최대 효율을 얻기 위한 디자인 능력은 과학보다 기술에 매우 중요한 지식
 - 다양한 요구 조건을 절충하는 디자인 능력은 과학에는 없는 성격의 지식
- ▣ 왜 기술 지식은 저평가?
 - 많은 부분이 암묵적 지식(tacit knowledge)
 - 자전거 타는 방법은 말로 전수 불가능
 - 18세기 브린틀리의 운하 건설 비법은 구전
 - 그림, 설계도와 같은 시각적 형태의 지식



제임스 와트의 평행 기구



그림 1-3
1769년 특허 카탈로그에 나와 있는 와트의 평행기구



레오나르도 다 빈치의 톱니바퀴 조립도와 분해도

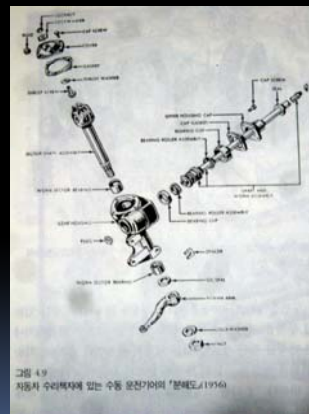
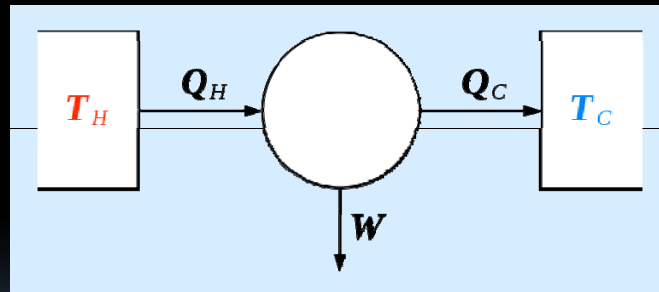


그림 4-9
자동차 수리책자에 있는 수동 운전기어의 '분해도' (1954)

■ 현대의 공학(engineering science)에서도?

- ▣ 구조공학의 예 :
 - 뉴턴역학을 그대로 구조물에 적용 불가능
 - 응력(stress), 변형(strain), 피로(fatigue) 등 과학에는 없는 개념 필요
- ▣ 열기관, 수차 엔지니어링의 예 :
 - 마땅한 과학이론 자체가 없었음
 - “일(work)”, “효율(efficiency)” 등의 개념 필수
 - 오히려 이러한 개념과 와트의 증기기관 디자인 방식 및 “어떻게 효율을 높일 수 있을까?”의 공학적 문제는 열역학 형성에 결정적인 기여

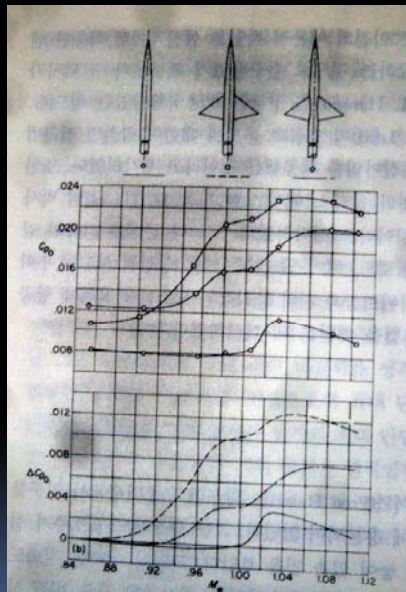


$$W = Q_H - Q_C$$

$$\text{Heat Efficiency} = W/Q_H$$

과학과 공학 모두 실험과 모형을 사용하지만 대체로 다른 방식으로 사용

- ▣ 과학 vs. 기술
 - 현상 창조 또는 이론 검증 실험 vs. 다양한 변수에 따른 결과 변화 관찰 실험
 - 보이지 않는 대상을 가설적으로 설명하고 예측하기 위한 모형 vs. 실제 크기의 조작이 번거롭거나 불가능해서 채용한 모형
- ▣ 즉, 다른 목적을 위한 지식은 다른 내용과 형태를 가지며, 다른 방식으로 얻어짐
- ▣ 기술은 나름의 독자적인 이론과 방법과 실천 체계를 갖추고 있음



속력에 따른 각 비행기 모형의 항력 증가 추이

실천으로서의 과학

- ▣ 실험을 통해 자연에 개입, 측정, 조작
→ 새로운 '현상'이나 '효과' 산출
- ▣ 실험과 도구에는 과학자들의 '암묵적 지식' 내재
- ▣ 기계나 기기의 '효율' 높이는 것은 중요한 과제
 - 효과의 증폭(예: 코일을 더 많이 감기) → 효과의 가시화, 안정화하는 기술자뿐 아니라 실험실의 과학자들에게도 일상적인 활동
- ▣ 즉, 과학자들의 실험실은 장인, 기술자들의 작업장과 별반 다르지 않음
 - 19세기 말엽 물리학의 실험실은 기계, 전기공학과 실험실의 모델이 됨
 - 과학자들은 실험실에서의 자신의 실천 능력을 상업에 제공
→ 자문 활동, 산업체 연구소에서의 기초 또는 응용 연구

과학과 기술의 상호작용

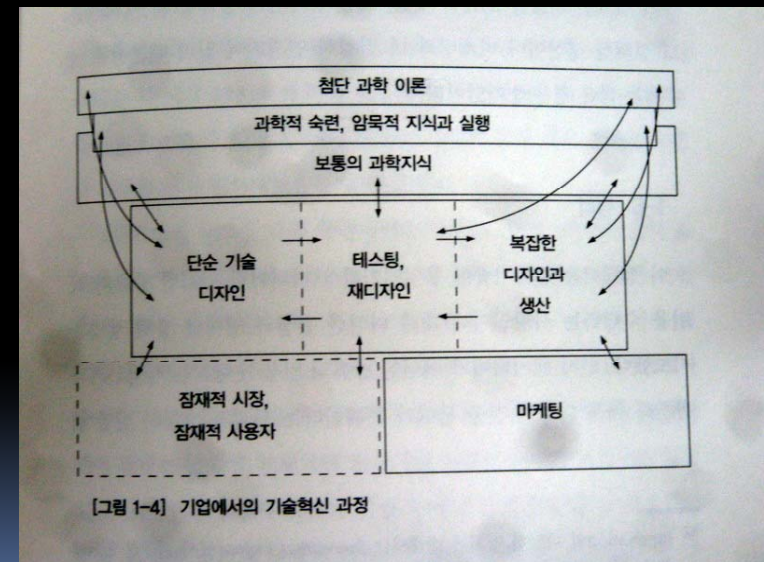


19세기-20세기초의 응용과학?

- 실험실에서 만들어진 새로운 “효과”, “도구”의 응용
 - 볼타의 전지와 검류계, 헨리의 전자석 → 전신
 - 패러데이의 전자기 유도 효과 → 전동기, 발전기
 - 헤르츠의 전자기파 → 무선전신
- 그럼에도 과학 이론의 단순한 응용은 아님
 - 대체로 이론보다는 새로운 “효과”가 응용
 - 과학이 기술적으로 응용되기 위해서는 많은 변형을 거침
 - Cf. 필요한 과학 이론이 없는 경우에는 기술자들이 직접 공학이론을 창조하기도
 - 실용화 위한 문제 해결 필요
 - 전신 : 송신거리 & 메시지 표준화 → 계전기, 모스부호
 - 무선전신 : 송신거리, 동조 → 안테나, 코히러 개량, 7777 특허
 - 기구 하나가 아닌 시스템 전체가 마련되어야
 - 전기조명 산업은 단지 백열등 발명으로 나탄한 것이 아님
 - 발전, 송전, 배전, 계량의 전체 시스템 함께 마련되어야
 - 따라서 실험실의 새로운 효과가 실제적인 응용으로 이어지기까지는 상당한 시간이 걸림 (많은 수는 수 십 년, 적게는 몇 달)

현대의 과학과 기술

- 전반적인 역사적 경향
 - 과학과 기술의 관계는 점차 밀접해지고 있음
 - 경계물, 경계인, 경계공간의 등장
 - 정부의 응용과학에 대한 믿음과 공적 지원
 - 거대과학의 출현 : 엔지니어와 과학자들의 총집합소
- 그럼에도 여전히 간극
 - 기술은 과학보다 (잠재적/현실적) 시장의 요구에 매우 민감
 - 엔지니어에겐 잘 모르더라도 실제로 작동시키는 디자인이 최우선
 - 예 : 마르코니의 무선전신 및 대서양 횡단
 - 엔지니어도 과학을 배우지만 그것이 꼭 최신 이론일 필요는 없음. 현장 공학자나 기술자들에게 ‘한울 간’ 과학으로도 대부분 충분
 - 우주선 보내는 데 양자역학, 상대성이론까지 필요치는 않음
 - 논문 발표 vs. 특허 출원
 - Cf. 생명과학, 컴퓨터 분야 등에서는 연구결과물이 특허로 나오기도
 - 하나의 진리 vs. 다양한 디자인



[그림 1-4] 기업에서의 기술혁신 과정